

喷射器在气田开发中的应用

(四川石油勘察规划设计院)

陈生贵 黄汝桥 胡荣祥

在天然气的集输系统中,为了便于说明问题起见,本文以输气干线或者集气干线始端压力为标准,把在气田开发过程中,凡是压力等于或低于输送压力的气井简称为低压井;凡是压力高于输送压力的气井简称为高压井。气田在开发过程中,随着天然气的不断开采,就会出现低压井不断增多,高压井逐渐减少的局面。当前存在的间歇采气井就是压力降到输送压力以下而被迫关井的。如果输送压力不随之而变,或者采用压缩机增压等措施,必将出现很多气井的气无法输入干线而被迫关井,或者就地使用。输送压力是可以调整的,但为了保证远输又毕竟有一定的限度。一口高压井,在采气的初期及其以后一段较长的时间里,由于其压力高于输送压力,一般都采取节流降压的办法向外输送。从井口压力节流到所需压力的压力降是一个相当可观的压能损失。在采气工艺中,不利用这部分能量,是一大损失。

从上述不难看出,在气田开发中,一方面气田上存在着需要增压的低压气,且逐年地增多;另一方面,为了满足输送压力的要求,又必须降低高压气的压力,因而浪费了相当大的压力能以及节流时保温所需要的热能。为了有效地利用能源,设法利用高压气的压力能和减少热能损耗,并且使低压气提高至输送压力。在这个特定的条件下,喷射器为解决这个问题提供了较为有效的办法。在气田开发的初期、中期、后期都有用处,

且经济效果显著。四川在五十年代至六十年代初期的试验基础上于1981年3月,在川南矿区的集气站安装了一台天然气喷射器投入试验。经过半个多月的运行试验表明,天然气喷射器能提高低压气压力,加快低压井的开采速度。1982年3月~4月,在川南矿区又有三台相继使用。事实表明,天然气喷射器在气田开发中,可以回收部分高压气的压能,对于提高高压井附近的低压气井的压力是可行的。

喷射器的基本概念

1. 基本原理

喷射器中,高压流体和低压流体相互混合,并发生能量交换,从而形成一股居中压力的混合流体。

混合流体有气相,有液相,有气、液、固相的混合物。进入装置以前,压力较高的工作流体,以很高的速度从喷嘴喷射入喷射器的接受室,并把在喷射器前的低压流体带走。工作流体的动能,一部分传给了引射流体。在沿喷射器流动的过程中,混合流体的速度渐渐均衡,于是混合流体的动能转变为势能或热能,见图1。

喷射器的主要部件有:工作喷嘴A、接受室B、混合室C和扩散器D。工作流体和引射流体进入混合室中,进行速度均衡,通常还伴随着压力的升高。流体从混合室出来进入扩散器,压力继续上升。在扩散器出口

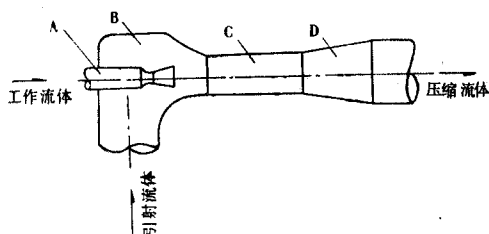


图1 喷射器简图

A——工作喷嘴 B——接受室
C——混合室 D——扩散器

处混合流体的压力高于进入接受室的引射流体的压力。

2. 临界状态及超音速的形成

天然气的临界状态系指其实际流速与该状态下的音速相等时的状态，所以说气体的临界速度是一种等于当地声速的实际速度。一般，天然气的临界压比为0.54~0.56。

流体在喷管中作加速运动时，如果速度很小的话，气体的密度可以认为无变化，那么喷管的截面就应该缩小。再加速下去，速度的增加伴随着显著的压强下降时，气体的密度也会显著下降，它部分地抵消了速度的增加，于是喷管的截面收缩应逐渐放缓。最后，加速的过程会通过那么一点，即加速气流密度的下降恰与速度变化成反比，则该点所处的截面积就不变。在这个截面上，气流的速度恰好等于音速。再加速下去，密度下降得更快了，此时，为了满足连续方程，喷嘴的截面就必须扩大。因此，为了取得超音速气流的超音速喷嘴，就必须由收缩（亚音速）及扩张（超音速）两部分组成，如图2所示。在超音速喷嘴最窄的那个临界截面上，气流速度恰等于音速，这种喷嘴称拉伐尔喷嘴。

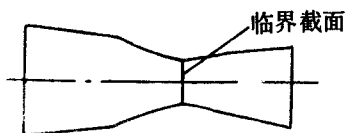


图2 缩放式喷嘴

用数学的方法也不难得出这个结论。这时必须同时看连续方程和伯努利方程的两个微分方程式（后者不计摩擦）：

$$d(\rho w F) = 0 \quad (1)$$

$$dp + \rho w dw = 0 \quad (2)$$

以 ρw^2 除方程式（2），并以 dp 同时乘除该式的第一项，则得

$$\frac{1}{w^2} \frac{dP}{d\rho} \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dw}{w} = 0 \quad (3)$$

根据方程式（1）得

$$F w b \rho + F \rho dw + \rho w dF = 0 \quad (4)$$

再除以 $\rho w F$ 得

$$\frac{d\rho}{\rho} = -\frac{dF}{F} - \frac{dw}{w} \quad (5)$$

将（5）式代入（3）式得

$$\frac{1}{w^2} \frac{dP}{d\rho} \left(-\frac{dF}{F} - \frac{dw}{w} \right) + \frac{dw}{w} = 0 \quad (6)$$

$$\therefore \frac{dP}{d\rho} = a^2 \quad (\text{压强对密度的微分等于}$$

音速的平方)

$$\therefore -\frac{dF}{F} - \frac{dw}{w} + \frac{w^2}{a^2} \frac{dw}{w} = 0$$

$$\text{即 } \left(\frac{w^2}{a^2} - 1 \right) \frac{dw}{w} = \frac{dF}{F} \quad (7)$$

因此 当 $w < a$ 时，则 $\frac{dF}{F} < 0$ （收缩）

当 $w = a$ 时，则 $\frac{dF}{F} = 0$ （临界）

当 $w > a$ 时，则 $\frac{dF}{F} > 0$ （扩张）

式中 ρ ——介质密度，千克/米³

w ——介质流速，米/秒

F ——喷管截面积，米²

P ——介质压力，公斤/厘米²

a ——音速，米/秒

3. 喷射器喷射系数曲线

$$\frac{P_c}{P_H} = f(u) \text{ 为喷射系数曲线, } u = \frac{G_H}{G_P}$$

为引射流体的质量流量与工作流体的质量流量之比。 P_H 、 P_c 分别为引射流体的压力

和混合流体的压力, 它们的比值即压缩比。其与喷射系数 u 的关系如图 3 所示, 均为最佳值。

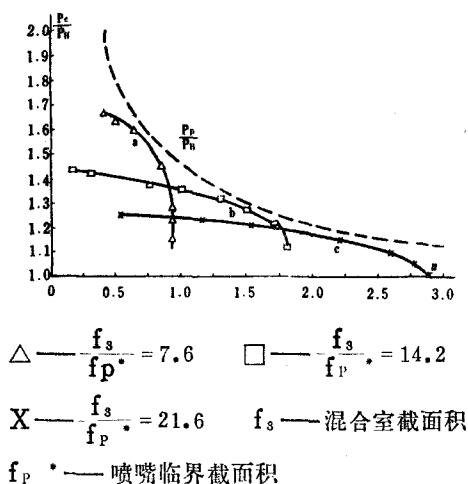


图 3 $\frac{P_c}{P_H} = f(u)$ 喷射系数的计算

关系曲线

图 3 中, 虚线是可达到喷射系数的计算关系曲线, 又名包络线。实线是试验特性曲线。从包络线可以看出: 欲增加喷射系数 u , 则压缩比 P_c/P_H 就将随着下降, 反之亦然。根据这个特性, 我们就能设计出适合某一特定用途的喷射器。在大膨胀比 P_P/P_H 的情况下, 根据压缩比的大小把喷射器分为如下三类:

(1) 当 $P_c/P_H \leq 1.2$ 时, 称做喷射器。设计这种喷射器的目的在于利用它升压不多, 但携带量大的特性。

(2) 当 $P_c/P_H \geq 2.5$ 时, 称做引射器。设计引射器的目的在于利用它携带量虽小, 但升压高的特点。

(3) 压缩比 P_c/P_H 介于上述两者之间时, 称做喷射压缩器。这种喷射器既能升压又具有一定携带能力, 在气田开发中是常用的喷射器。

从图 3 可以看出: 对于每一台具体尺寸的喷射器的试验特性曲线只有一点与包络线

相接近, 如 a、b、c 点。根据这些点就可以确定出给定几何尺寸喷射器的最佳状态的参数。在气田开发中, 可以根据高压气的压力和低压气的压力以及混合气的压力绘制一组包络线, 利用这组包络线就可以初步判断该井有无使用喷射器的可能。

喷射器现场试验简况和实现

1. 喷射器现场试验简况

川南矿区安装喷射器四台, 其中喷射压缩器三台, 引射器一台。启用以来, 运行正常。试验中携带的方式分三类:

- (1) 一口高压井带一口低压井,
- (2) 两口高压井带一口低压井,
- (3) 一口高压井带两口低压井。

试验结果表明, 喷射器的性能稳定, 效果显著。从四台喷射器来看, 升压的范围为 2~3 倍; 携带低压气量为 1000~70000 标米³/日; 低压气的压力范围是 0.5~30 kgf/cm² (表), 高压气的压力范围是 110~18 kgf/cm² (表)。

2. 喷射器增压和加快采气速度的实例

阳 7 井 18 kgf/cm² 的天然气能够把 2.5 kgf/cm² 的阳 1 井与阳 8 井的天然气升压到 5 kgf/cm² (绝), 这正是设计工作点。在变工况下, 当喷射系数小时, 还可以使低压气的压力提高倍数高于 2。例如, 将阳 8 井的气量开到最大时, 曾出现过这样的情况: 18 kgf/cm² 高压气带 1.7 kgf/cm² 低压气, 结果混合压力增加到 4.6 kgf/cm², 提高压力为 2.71 倍, 此时的喷射系数为 0.07。

牟 8 井 110 kgf/cm² 高压气能把牟 6 井的低压气, 从 10 kgf/cm² 提高到 26~31 kgf/cm², 压缩比约为 2.6~3.1。

牟 9 井 50 kgf/cm² 的高压气能把牟 11 井的低压气由 12 kgf/cm² 提高到 27~30 kgf/cm², 压缩比为 2.1~2.4。

以上几口低压井, 都是由于使用喷射器

后,降低了气井回压而造成较大的压差。对无水气藏,可降低井口废弃压力,有益于提高气藏采收率。

从阳1井试验看,二月份日产气约2万标米³左右,而使用了喷射器后,日产量平均约为2.3万标米³,这还是在节流条件下得到的数据。若按原正常采气情况,进站压力如果不采取节流的话,产气量可达2.8~2.9万标米³/日。由于阳1井是连续生产井,故初步估算,启用喷射器后,在节流的情况下,就能使每月进入管输的气量增加9万标米³;在不节流的情况下,则使进入管输的气量每月平均约24万标米³。

牟6井1981年12月,1982年1、2月,三个月平均月产气量43万标米³。使用喷射器后,3月份产气69万标米³。

综上所述,凡是使用了喷射器的井,可以多生产气量。

效率相对于其他增压设备显得低一些,一般为15~45%。但在气田开发中,喷射器效率一般在25%以上。

2.压缩比,即低压气压力提高的倍数。一般说来,只要气井具备高压气的条件,而且气量又大,压缩比则可以达到几倍到几十倍。在气田开发中,受气井压力和输气要求的限制,压缩比一般为1.2~4。

3.使用喷射器有一定条件。若高压气的压力较高,气量也大,这种条件就是最有利的条件,不具备高压气的地方是无法用喷射器的。对于具体的两口井,如果已知高压气和低压气的压力、温度、比容以及混合气的输送压力,就可以通过图3来进行初步估算。经过估算就能决定喷射器是否在这两口井可用。至于喷射器的结构尺寸的确定,只要经过上述的估算,最后确定的几个状态参数,就可以很方便地用计算机计算出来。

喷射器的效率及其他

1.从能量平衡概念谈效率,喷射器的

(本文收到日期1982年10月29日)

天然气集输加工节能学术会 在成都召开

本刊讯 四川气田天然气集输加工节能学术会于1983年5月5日至7日在成都召开。出席会议的有来自生产、管理、设计、科研等部门的代表65人。

会议收到论文37篇,大会宣读25篇。这些论文集中反映了气田集输和天然气处理厂中的节能效果,对今后的节能工作提出了许多积极建议。大家一致认为,近年来,由于各级领导的重视和广大工人、技术人员的共同努力,四川气田节能工作取得可喜的成果,不少单位成绩十分显著。但存在问题仍不少,设备“大马拉小车”的现象较普遍,跑、冒、滴、漏也较严重,工艺上还有不少不合理的地方,有些单位水、电、气的计量管理还没有严格的制度,节能潜力是很大的,今后必须继续加强节能管理和研究工作。

井控技术在总体上有一个全面了解,在主要方面有所借鉴,使现代井控技术更好地得到应用和推广。

《天然气工业》 第3卷 第2期 1983

The Understanding of Modern well Control Technique

Zeng Shi-tian

This article discusses systematically the meaning content and development of well control technique. Modern well control technique is fully described in general so that its main respects can be used for reference in the specific well control operations and the technique can be better applied and spreaded.

NGI Vol.3 No.2 1983

钻井管材的腐蚀与防腐

陈传谦 黄纹琴

本文介绍了钻井过程中的腐蚀介质及其极限浓度、腐蚀类型和管材破坏时间。并通过实例说明硫化氢腐蚀危害最大,腐蚀疲劳是缩短钻具使用寿命的主要原因。

同时阐明了各种防腐措施及其效果,重点介绍了管材和防腐剂的合理选用。

《天然气工业》 第3卷 第2期 1983

The Corrosion and Corrosion Prevention of Tubular Goods used in Drilling Oil and gas Wells

Chen Chuan-lian

Huang Wen-qin

The article presents the corrosive medium and its limiting concentration, type of corrosion and tubular failure time during drilling a well. It shows using actual examples that H_2S corrosion is the most harmful medium and corrosion fatigue is the main reason of shortening the life of drilling tools. Various corrosion prevention measures and their results are also presented and emphasis is put on reasonable selection of tubular goods and inhibitors.

NGI Vol.3 No.2 1983

四川天然气处理厂二氧化硫废气排放筒高度的探讨

关昌伦 胡平

本文从烟气扩散计算模式入手,评述了我国现行的二氧化硫排放标准《GBJ4-73》与有关部门新近提出的排放指标“P”值计算法。并以四川地区天然气处理厂若干实例进行对比,指出当排气筒高度一定时,采用“P”值法计算,其允许排放量比现行标准确切。

《天然气工业》 第3卷 第2期 1983

A Study of the Height of Sulfur Dioxide Waste Gas Exhaust Stack at the Sichuan Natural Gas Treating Plant

Guan Chang-lun Hu Ping

Starting with flue gas dispersion calculation, this article reviews the National Standard (GBJ4-73) for sulfur dioxide exhaust currently in effect and the method for calculating the value of exhaust index “P” proposed recently by the organization concerned. By comparing with several actual cases at the Sichuan Natural Gas Treating Plant, it is pointed out that for a given exhaust stack height, the permissible concentration of sulfur dioxide in the exhaust gas calculated by “P” value method is more exact than that obtained by the current standard.

NGI Vol.3 No.2 1983

喷射器在气田开发中的应用

陈生贵 黄汝桥 胡荣祥

本文论述了喷射器的基本原理。重点介绍它在气田开发中的应用、增压能力及使用条件。并引用现场试验资料,说明喷射器可以回收因节流而损失的高压气的压能,提高低压气的压力,加速低压井的采气速度,其经济效益显著。

《天然气工业》 第3卷 第2期 1983

Ejectors and Its Application in Gas Field Development

Chen Sheng-gui Huang Ru-qiao

Hu Rong-xiang

The article discusses the basic principles of eductors, with the stress put on its application in gas field development, boosting capacity and applicable conditions. Based on field experiment informations, it illustrates that eductors are capable of recovering the high pressure gas pressure energy loss results from throttling, increasing the pressure of low pressure gas, increasing the production rate of low pressure gas well, and the economic result is remarkable.

NGI Vol.3 No.2 1983

天然气过滤器

王协琴

本文介绍气田上脱除气流中固体和液体杂质的分离设备和类型、原理和基本技术要求。然后介绍从日本千代田化学工程公司引进的卧龙河天然气处理厂气体过滤-分离器的结构特点、主要设计参数和实际运行情况。

《天然气工业》第3卷第2期 1983

Filter for Natural Gas

Wang Xie-qin

This paper describes the types, principles and basic technical requirements of separators used in gas field for removing the solid and liquid impurity in the gas stream. It then introduces the structural features, main design parameters and the actual performance of the filter-separator operated in the Natural Gas Treating Plant contracted by CHIYODA Chem. Eng. Cons. Co., Ltd, Japan.

NGI Vol.3 No.2 1983

谈谈天然气压能利用

喻平仁

天然气压能的利用是气田节能的一个重要方面。本文通过压能发电、喷射器带输低压气、调整低压井开采的工艺流程实例,论述了气田开发的全过程都可利用压能,借以引起人们重视,促进这一工作的开展。

《天然气工业》第3卷第2期 1983

The Utilization of Natural Gas Pressure Energy

Yu Ping-yen

The utilization of natural gas pressure is an important respect in economizing on energy in gas fields. This article discusses the feasibility of utilizing pressure energy in the entire process of gas field development through actual examples of pressure energy electricity generating, eductor boosting of low pressure gas and adjustment of production lookup and operation so as to attract people's attention and take specific steps.

NGI Vol.3 No.2 1983

油罐气回收装置的研究

朱普秀 黄满堂

回收油罐气,减少原油在储运过程中的蒸发损耗,是节约能源的一项有效措施。本文介绍了大庆油田在开式流程中油罐气回收装置的试验研究情况,阐述了装置组成、工艺流程及装置的控制办法,并进行了经济分析,认为具有显著经济效益,有推广意义。

《天然气工业》第3卷第2期 1983

Research on Oil Tank Gas Recovery Equipment

Zhu Pu-xiu

Huang Man-tang

Recovering oil storage tank gas and reducing the evaporation loss in the storage and transfer of crude oil is one of the effective measures for saving energy. This article describes the research work in Daqing oil field on the recovery equipment for oil tanks in the open pipeline system, the components of the equipment, flow diagram and control method. After conducting economic analysis, it is considered that remarkable economic result can be obtained and it is worthy of popularization.

NGI Vol.3 No.2 1983